

УДК 621.791.927

© Матвиенко В.Н.<sup>1</sup>, Лещинский Л.К.<sup>2</sup>, Мазур В.А.<sup>3</sup>**ФОРМООБРАЗОВАНИЕ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ ПРИ  
ШИРОКОСЛОЙНОЙ НАПЛАВКЕ ПОД ФЛЮСОМ СОСТАВНЫМ  
ЛЕНТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ**

*Показано, что при широкослойной наплавке составным ленточным электродом формообразование сварочной ванны зависит от геометрии составного электрода, влияющей на характер процесса наплавки под флюсом, распределение тепловой энергии по ширине источника, неравномерность расплавления основной и боковых лент, коэффициент вариации глубины проплавления. Математическое моделирование и результаты экспериментов позволили оценить влияние угла поворота боковых лент составного электрода на форму, длину и ширину сварочной ванны.*

**Ключевые слова:** широкослойная наплавка, флюс, составной ленточный электрод, основная лента, боковые ленты, угол поворота, формообразование ванны, длина и ширина ванны, глубина проплавления, коэффициент вариации.

*Матвиенко В.М., Лещинський Л.К., Мазур В.О. Формоутворення зварювальної ванни при широкошаровому наплавленні під флюсом складеним стрічковим електродом. Показано, що при широкошаровому наплавленні складеним стрічковим електродом формоутворення зварювальної ванни залежить від геометрії складеного електроду, що впливає на характер процесу наплавлення під флюсом, розподіл теплової енергії по ширині джерела, нерівномірність розплавлення основної і бічних стрічок, коефіцієнт варіації глибини проплавлення. Математичне моделювання і результати експериментів дозволили оцінити вплив кута повороту бічних стрічок складеного електроду на форму, довжину і ширину зварювальної ванни.*

**Ключові слова:** широкошарове наплавлення, флюс, складений стрічковий електрод, основна стрічка, бічні стрічки, кут повороту, формоутворення ванни, довжина і ширина ванни, глибина проплавлення, коефіцієнт варіації.

*V.M. Matvienko, L.K. Leshchinskiy, V.O. Mazur. The formation of the weld pool in the process of submerged arc surfacing using composite strip electrode. The influence of geometry of the composite strip electrode on the process of submerged arc surfacing has been presented. The obtained data and mathematical models made it possible to evaluate the size and shape of the weld pool, as well as non-uniformity of depth of penetration, is performed.*

**Keywords:** submerged arc surfacing, flux, composite strip electrode, central and lateral strips, angle of rotation, weld pool, shape, size, depth of penetration, non-uniformity.

**Постановка проблемы.** В решении проблемы воздействия на формообразование сварочной ванны при широкослойной наплавке под флюсом, наряду с другими факто-

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>2</sup> д-р техн. наук, профессор, Бостон, США

<sup>3</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

рами, большие возможности связаны с исследованием и разработкой способа наплавки составным ленточным электродом.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Совершенствование процесса широкослойной наплавки ленточным электродом вызвано необходимостью расширить его технологические возможности, не снижая при этом производительности и качества наплавленного металла [1]. Среди способов наплавки ленточными электродами важнейшую роль играет процесс наплавки под флюсом, применяемый для нанесения износостойких и коррозионностойких слоёв. По способности управления в процессе наплавки под флюсом тепломассопереносом и эффективностью проплавления, влияющими на формообразование ванны, условия формирования шва, а также структуру и свойства наплавленного слоя, способ наплавки составным ленточным электродом [2] располагает значительными преимуществами в сравнении со способом наплавки профилированным ленточным электродом [3], а также двумя параллельными лентами [4].

**Цель статьи.** Изучение влияния геометрии составного ленточного электрода на формообразование сварочной ванны при широкослойной наплавке под флюсом.

**Изложение основного материала.** Составной ленточный электрод (рис. 1), состоит из средней (основной) и двух боковых лент, расположенных перпендикулярно средней ленте или под углом, отличным от прямого. Механизм подачи позволяет перемещать среднюю ленту относительно боковых, сохраняя между ними перпендикулярность или другой заданный угол. При наплавке под флюсом АН-348А составным ленточным электродом Св-08кп (средняя лента – 50×0,5 мм, боковые ленты – 25×0,7 мм) параметры режима: ток постоянный обратной полярности  $I_H = 1150...1250$  А,  $U_d = 30...32$  В,  $v_H = 14$  м/ч, вылет ленточных электродов 40 мм.

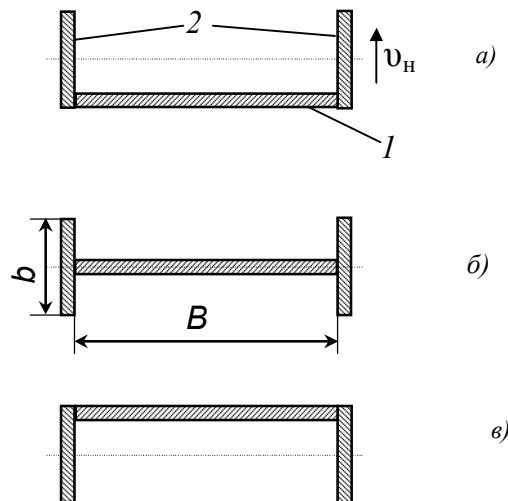


Рис. 1 – Взаимное положение лент составного электрода: 1 – средняя (основная) лента; 2 – боковые (дополнительные) ленты

Важнейшие преимущества процесса наплавки составным ленточным электродом связаны с возможностью изменения положения боковых лент относительно средней, а также соотношения массовых (линейных) скоростей подачи каждой из них. В зависимости от положения боковых лент относительно средней изменяется степень сосредоточенности выделяющегося тепла, условия теплопередачи ленточным электродам и основному металлу; благодаря влиянию на характер процесса наплавки под флюсом (доля тока шунтирования дуги шлаковым расплавом может составлять от 30...35 до 50...55 % общего тока), в значительной мере изменяются условия расплавления сред-

ней и боковых лент, эффективность и стабильность проплавления, форма и размеры сварочной ванны. Кроме того, под воздействием перемещения дуги по торцу лент составного электрода интенсивно перемешивается расплавленный металл ванны. Это влияет на дендритную и зональную ликвацию примесей, процесс кристаллизации металла и формирование валика, возможность получения макроразнородной структуры [5].

Процессы, происходящие при наплавке под флюсом составным ленточным электродом, в полной мере согласуются с перемежающимся (смешанным) характером процесса [6]. С изменением положения боковых лент относительно основной, перемещаются зоны преимущественного влияния дугового процесса (то же можно сказать о зонах, где важнейшую роль играет шлаковый процесс) [7]. В зависимости от перемещения зон с большей долей дугового процесса (с опережающих основную ленту боковых лент (рис. 1, а) к той их части, которая вынесена перед основной лентой (рис. 1, б) и, наконец, на среднюю ленту (рис. 1, в), изменяется характер оплавления торцов лент (рис. 2, а), но, главное – это влияет на неравномерность проплавления (рис. 2, б).

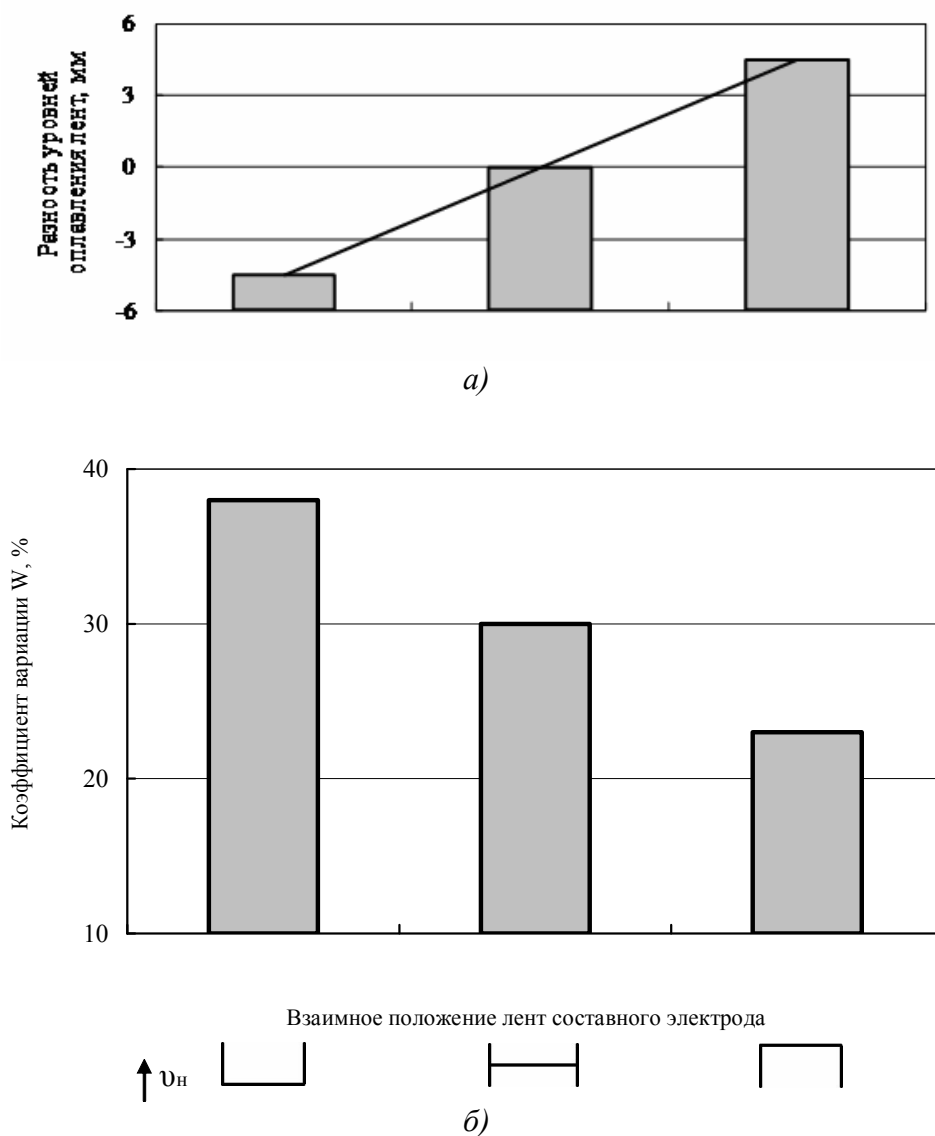


Рис. 2 – Разность уровней торцов средней и боковых лент составного электрода (а) и коэффициент вариации  $W$  глубины проплавления (б)

По мере перемещения боковых лент относительно средней, в результате значительных изменений, происходящих в перемежающемся процессе с параллельным существованием дуговой и шлаковой составляющей, влияющих на скорость расплавления средней и боковых лент, условия нагрева и плавления основного металла, значительно изменяется форма, длина и ширина сварочной ванны (рис. 3).

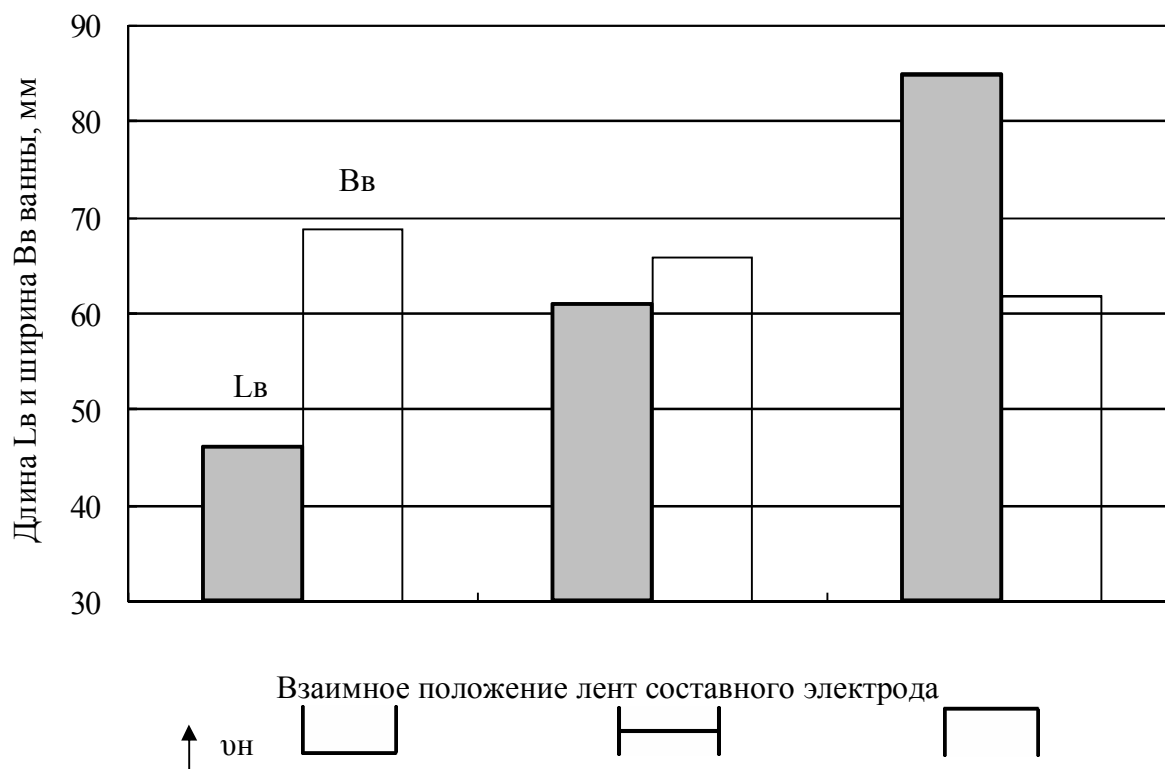


Рис. 3 – Длина (LB) и ширина (BB) сварочной ванны при наплавке составным ленточным электродом

Возможность сохранить ширину ванны (даже при уменьшении в определённых пределах ширины средней ленты) зависит от величины угла  $\alpha$  между основной и боковыми лентами. С расположением боковых лент под углом  $\alpha \neq 90^\circ$ , суммарная фронтальная проекция трёх ленточных электродов увеличивается, компенсируя уменьшение ширины средней ленты. Важную роль в увеличении ширины ванны с изменением угла поворота боковых лент играет направление и интенсивность потоков расплавленного металла, в особенности, на краях ванны.

Для исследования влияния изменения угла поворота боковых лент относительно средней ленты на ширину сварочной ванны, использовались расчётные значения положения изотермы, соответствующей температуре  $T = T_{пл}$ , определяющей границы ванны (рис. 4). Такие расчётные данные получены в результате математического моделирования процесса нагрева и плавления основного металла при наплавке под флюсом составным ленточным электродом. Расчёты выполнены путём решения нелинейного дифференциального уравнения теплопроводности с использованием метода конечных элементов.

При постоянной ширине средней и боковых лент, увеличение ширины ванны тем больше, чем в большей мере угол  $\alpha$  отличается от  $90^\circ$ . При изменении угла поворота боковых лент от  $90$  до  $150^\circ$  ширина ванны увеличивается более чем на 20 мм (рис. 4, 5).

При наплавке составным ленточным электродом (средняя лента –  $50 \times 0,5$  мм, бо-

ковые ленты – 25×0,7 мм) с увеличением угла поворота боковых лент до 150° ширина ванны достигает 90 мм при высоком качестве формирования одинарного наплавленного валика.

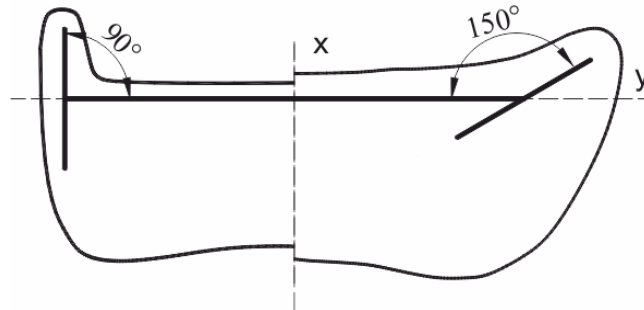


Рис. 4 – Увеличение ширины ванны с изменением угла поворота боковых лент от 90° до 150° (при одинаковых размерах лент и постоянном режиме наплавки)

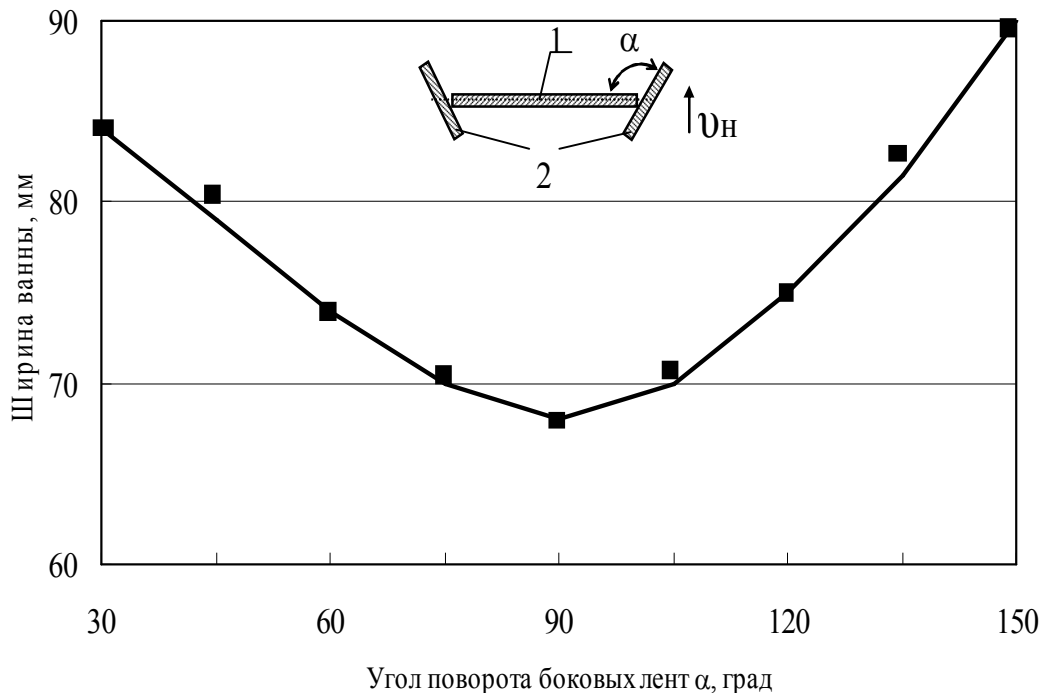


Рис. 5 – Ширина ванны в зависимости от угла поворота ( $\alpha$ ) боковых лент к основной ленте

#### Выводы:

1. На формирование сварочной ванны во время широкослойной наплавки составным ленточным электродом под флюсом влияет перемежающийся (смешанный) характер процесса (доля тока, шунтирующего дугу расплавленным шлаком, может превышать 50% от общего).
2. При перемещении боковых лент относительно основной ленты изменяются условия нагрева и плавления как ленточных электродов, так и основного металла, что влияет на эффективность и неравномерность проплавления.
3. Происходящее при таких изменениях геометрии составного ленточного электрода перераспределение выделяющегося тепла по пятну нагрева основного металла при-

- водит к значительным изменениям формы, длины и ширины сварочной ванны.
4. Для получения расчётных значений положения изотермы  $T_{пл}$ , позволяющих определить ширину ванны, использовалось математическое моделирование процесса нагрева и плавления основного металла.
  5. Эффективным путём воздействия на формообразование сварочной ванны является поворот боковых лент относительно основной ленты. При этом ширина ванны увеличивается по мере увеличения или уменьшения угла поворота  $\alpha$  от исходного значения ( $90^\circ$ ).
  6. При наплавке составным ленточным электродом (средняя лента –  $50 \times 0,5$  мм, боковые ленты –  $25 \times 0,7$  мм) с увеличением угла поворота боковых лент до  $150^\circ$  ширина ванны достигает 90 мм. Высокое качество формирования одинарного широкого валика, а также надёжность проплавления, достигаются без применения внешнего воздействия (например, магнитного поля).

#### Список использованных источников:

1. Peters G. Elektroschlacke – Bandplattierung mit korrosionsbeständigen Werkstoffen / G. Peters, P. Paschold // DVS – Berichte, DVS – Verlag. Düsseldorf. – 2000. – Bd. 209. – P. 274-279.
2. А.с. 1561348 СССР, МКИ В23К 9/04. Способ наплавки расщеплённым ленточным электродом / В.Н. Матвиенко, Л.К. Лещинский, В.А. Егоров [и др.]. – № 4488183/25-27; заявл. 28.09.88; опубл. 03.01.90, Бюл. № 16.
3. Белоусов Ю.В. Выбор оптимальной формы ленточного электрода для широкослойной наплавки / Ю.В. Белоусов, Л.К. Лещинский, Б.Б. Сологуб // Автоматическая сварка. – 1976. – № 12. – С. 24-28.
4. А.с. 1099490 СССР, МКИ В23К 9/04. Способ наплавки двумя ленточными электродами / Л.К. Лещинский, В.П. Лаврик, В.Н. Матвиенко. – № 3550385/25-27; заявл. 08.02.83; опубл. 22.02.84, Бюл. № 23.
5. Матвиенко В.Н. Получение многослойного композиционного покрытия наплавкой ленточными электродами / В.Н. Матвиенко, В.П. Иванов, К.К. Степнов // Вестник Приазов. гос. техн. ун-та: Сб. научн. тр. Вып. 6: Мариуполь, 1998. – С. 201-204.
6. Лещинский Л.К. Слоистые наплавленные и упрочнённые композиции / Л.К. Лещинский, С.С. Самотугин. – Мариуполь: Новый мир, 2005. – 392 с.
7. Лещинский Л.К. Форма сварочной ванны при наплавке составными ленточными электродами / Л.К. Лещинский, В.Н. Матвиенко, С.В. Гулаков. // Автоматическая сварка. – 1991. – № 11. – С. 58-60.

#### Bibliography:

1. Peters G. Elektroschlacke – Bandplattierung mit korrosionsbeständigen Werkstoffen / G. Peters, P. Paschold // DVS – Berichte, DVS – Verlag. Düsseldorf. – 2000. – Bd. 209. – P. 274-279.
2. USSR author's cert. № 1561348, Int. Cl. B23K 9/04. Method of surfacing / V.N. Matvienko, L.K. Leshchinskiy, V.A. Egorov [et al.]. // Publ. 03.01.90, Byul. № 16 (Rus.).
3. Belousov Yu.V. The selection of the optimal shape of strip electrode for wide layer surfacing / Yu. V. Belousov, L. K. Leshchinskiy, B. B. Sologub // Paton arc welding journal. – 1976. – № 12. – P. 24-28 (Rus.).
4. USSR author's cert. № 1099490, Int. Cl. B23K 9/04. Method of surfacing / L.K. Leshchinskiy, V.P. Lavrik, V.N. Matvienko. // Publ. 02.22.84, Byul. № 23 (Rus.).
5. Matvienko V.N. Effect of multilayer composition in the process of surfacing using strip electrode / V.N. Matvienko, V.P. Ivanov, K.K. Stepnov // Bulletin of Pryazovskyi State

- Technical University: collection of scientific works V. 6: Mariupol, 1998. – P. 201-204 (Rus.).
6. Leshchinskiy L.K. Multilayer compositions: surfacing and hardening / L.K. Leshchinskiy, S.S. Samotugin. – Mariupol: Noviy mir, 2005. – 392 p. (Rus.).
  7. Leshchinskiy L.K. The shape of the weld pool in the process of surfacing using composite strip electrode / L.K. Leshchinskiy, V.N. Matvienko, S.V. Gulakov // Paton arc welding journal. – 1991. – № 11. – P. 58-60 (Rus.).

Рецензент: В.И. Щетинина  
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 30.04.2013

УДК 621.791.92

Иванов В.П.\*

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ УПРАВЛЕНИЕМ ГИДРОДИНАМИКОЙ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ

*Осуществлен обзор состояния дел в области моделирования зон проплавления и наплавки металла шва, исследований способов управления и стабилизации процесса формообразования сварочной ванны и возникающих при этом дефектов формирования. Разработаны динамические модели формирования сварочной ванны и связанных с этим дефектов наплавленного шва. На основе этих моделей проанализирована взаимосвязь таких информационных сигналов, как скорость подачи электрода и скорость перемещения струи-источника как параметров системы управления технологическим процессом наплавки.*

**Ключевые слова:** сварочная ванна, гидродинамические процессы, формообразование, зона проплавления, скорость потока, математическая модель.

**Іванов В.П.** Підвищення ефективності процесу електродугового наплавлення керуванням гідродинаміки зварювальної ванни. Здійснено огляд стану справ в області моделювання зон проплавлення і наплавлення металу шва, досліджень способів управління і стабілізації процесу формоутворення зварювальної ванни і виникаючих при цьому дефектів формування.

Розроблено динамічні моделі формування зварювальної ванни і пов'язаних з цим дефектів наплавленого шва. На основі цих моделей проаналізовано взаємозв'язок таких інформаційних сигналів, як швидкість подачі електрода і швидкість переміщення струменя-джерела як параметрів системи управління технологічним процесом наплавлення.

**Ключові слова:** зварювальна ванна, гідродинамічні процеси, формоутворення, зона проплавлення, швидкість потоку, математична модель.

**Ivanov V.P.** Increasing of the efficiency of electric arc overlaying process with control the hydrodynamics of the weld pool. The review of the situation in the

\* канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь